

$t_{ш} = 25\text{--}65\text{ }^{\circ}\text{C}$, влагосодержание газа $f_r = 3,5\text{--}10\text{ }\%$) эта зависимость практически линейна, но из нее несколько «выпадает» влияние удельной поверхности шихты (диаметра частиц шихты), существенно изменяющий характер теплообмена по всей высоте слоя. В целом эти результаты по характеру зависимости близки к балансовым расчетам в работе [2]. На рисунке 2, б показана взаимосвязь равновесных значений температуры и влажности шихты, имеющая также практически линейный характер в широком диапазоне принятых исходных параметров, что естественно, поскольку эти величины связаны тепловым и материальным балансами. Эта связь может быть описана следующим простым соотношением:

$$t_p = 41 + 2,2 \cdot U_p, \quad (1)$$

где t_p – равновесная температура, $^{\circ}\text{C}$;

U_p – равновесная влажность шихты, % на сухую массу.

Расчетная зависимость t_p от входной температуры газа T_c^1 имеет вид:

$$t_p = 31,6 + 0,107 \cdot T_c^1, \quad (2)$$

отсюда зависимость U_p от T_c^1 получится в виде:

$$U_p = 0,049 \cdot T_c^1 - 4,3. \quad (3)$$

Таким образом, установлены следующие особенности развития процесса сушки.

1. Температура газа на входе в зону сушки (T_c^1) изменяется в узких пределах $200\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в зависимости от параметров шихты и газа. При этом скорость фильтрации мало влияет на T_c^1 . Более существенно влияние параметров шихты, в том числе размеров ее частиц, т.е. удельной поверхности слоя.

2. Равновесная температура газа и шихты (t_p) определяется, главным образом, температурой газа на входе в зону сушки и в широком диапазоне входных параметров эта зависимость может быть описана линейной функцией вида $t_p = 31,6 + 0,107 \cdot T_c^1$. Равновесные значения температуры и влажности (U_p) шихты связаны тепловым и материальным балансом и по результатам моделирования эта связь имеет линейный характер и описывается соотношением $t_p = 41 + 2,2 \cdot U_p$.

Список использованных источников

1. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург, УГТУ–УПИ, 2003. 400 с.
2. Коротич В.В. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке. М.: Металлургия, 1978. 205 с.
3. Базилевич С.В., Вегман Е.Ф. Агломерация. М.: Металлургия, 1967. 368 с.
4. Раева М.В., Шкляр Ф.Р., Фролов Ю.А. Модель тепло- и массообмена при сушке пористого слоя // Металлургическая теплотехника : темат. отр. сб. 1974. № 2. С. 154–162.
5. Споллдинг Д.Б. Конвективный массоперенос. М.: Энергия, 1965. 384 с. с ил.
6. Фролов Ю.А. Теплотехническое исследование процесса агломерации и совершенствование технологии и техники для производства агломерата: дисс. д-ра техн. наук.: 05.16.02, защищена 20.05.2005. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. 53 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Брусницын А.П., Киселев Е.В.

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия*

На машиностроительных заводах, где по различным причинам не используется углеводородное топливо, имеется большой парк электропечей. В настоящее время к выпускаемой продукции предъявляются новые, высокие требования. Электрические печи, построенные по

проектам 60–70-х годов прошлого века, часто не обеспечивают требуемого уровня качества продукции.

На ОАО «Пневмостроймашина» (г. Екатеринбург), где производится аксиально-поршневая гидравлика и её элементы, имеется большой парк электрических печей сопротивления.

В этих печах производится нагрев и термическая обработка ответственных деталей гидравлических систем и насосов различного назначения, поэтому электрические печи обеспечивают технологический процесс в малоокислительной атмосфере рабочего пространства. Конструкции печей, использующихся на заводе, и особенности производства не позволяют эффективно расходовать электрическую энергию.

В основном, это происходит из-за массивной футеровки этих печей (400–500 мм), кроме того, из-за особенностей производства значительное количество энергии тратится на предварительный разогрев массивной кладки (табл. 1). Одной из распространённых на заводе конструкций печи, установленных в прокатном цехе является камерная электрическая печь сопротивления с размером пода 800х1300 мм (рис. 1).



Рис. 1. Камерная электрическая печь сопротивления

Техническая характеристика представлена в табл. 1.

Футеровка состоит из: корунда легковесного, высокоглинозема МЛО–62, шамота легковесного ШЛ–0,4, перлитокерамики, карборунда, корвеириита, асбеста. На поду имеются опорные столбики, на которые укладываются подовые плиты. В столбиках предусмотрены пазы для обеспечения циркуляции атмосферы. Подовые плиты сделаны из карборунда.

Нагрев производится нагревателями, расположенными на стенках и поду печи. Нагреватели изготовлены в виде спиралей надетых на керамические трубки из проволоки сплава суперфехраль. На стенках трубки крепятся по краям в опорных столбиках, а в промежуточных положениях, зафиксированы консольными трубками, вмонтированными в футеровку. Нагреватели расположены горизонтально с зазором от боковых стенок, по всей высоте камеры нагрева. Вывода нагревателей выходят в пространство между ограничивающим кожухом и декоративными панелями через уплотняющие устройства.

Таблица 1

Техническая характеристика электрической печи сопротивления

Наименование параметра	Норма	Размерность
1. Номинальная мощность	51	кВт
2. Номинальная температура	1200	°С
3. Номинальное напряжение питающей сети	380	В
4. Число тепловых зон	1	
5. Масса загрузки, не более	400	кг
6. Время разогрева электропечи		ч
до рабочей температуры	5,5	
до установившегося режима	20	
7. Электроэнергия, затраченная на разогрев, не более		кВт*ч
до рабочей температуры	275	
до установившегося режима	575	
8. Размеры рабочего пространства		мм
ширина	850	
длина	1160	
высота	598	

Для производства различных деталей используются широкий сортамент маркок сталей, например:

Сталь (сплав)	Применение
40Х, 30Х3МФА, 38Х2МЮА	Втулки, поршни, валы и т.д.

В целях совершенствования конструкции печи был произведен расчет нагрева металла печи существующей конструкции, а также потребляемой мощности, нагревателей и основных показателей тепловой работы печи.

Расчёт печи проводился при максимальной загрузке печи.

В результате расчёта для 6 цилиндрических заготовок с общей массой 300 кг и размерами: длиной 300 мм и диаметром 190 мм, при температуре нагрева 1140 °С производительность печи составила 200 кг/ч, удельная производительность 95 кг/(м² ч), тепловая мощность 49,5 кВт, КПД 39,8 %, при этом потери тепла кладкой теплопроводностью составили 47 %.

Основными направлениями совершенствования конструкции печи является замена массивной кирпичной кладки, изготовленной из материала с большим коэффициентом теплопроводности на современные виды волокнистых материалов.

Эти материалы, имеющие значительно меньший коэффициент теплопроводности по сравнению с кирпичными огнеупорами, позволяет значительно снизить (в 2–3 раза) потери тепла в окружающее пространство. Также, применение волокнистых материалов позволит значительно снизить (в 3–5 раз) затраты энергии при разогреве печи до рабочей температуры.

В результате изменений конструкции печи планируется снижение затрачиваемой энергии на тепловую обработку металла на 40–50 %.

В условиях прокатного цеха ОАО «Пневмостроймашина», где эксплуатируется несколько электропечей подобной конструкции, также можно будет получить значительный экономический эффект от снижения энергозатрат в технологическом производстве деталей, гидронасосов и т.д.

Список использованных источников

1. Киселев Е.В., Кутьин В.Б., Матюхин В.И. Электрические печи сопротивления. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2010. 74 с.
2. Свенчанский А.Д. Электрические промышленные печи: учебник для вузов. Изд-е 2-е, перераб. М.: Энергия, 1975. 384 с.
3. Теплотехнические расчеты металлургических печей. Под ред. А.С. Телегина. М.: Металлургия, 1982. 360 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА В ВАННЕ ПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Бурлаков А.А., Сабиров Е.Р., Швыдкий В.С.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия

При разработке численной схемы плавильной печи целесообразно тщательно учесть особенности расплава. Первой такой особенностью является его большая плотность. Учитывая также большую вязкость и медленное движение (практически ползущее), можно уверенно считать расплав несжимаемой жидкостью. Конечно, его плотность зависит от температуры, а температура в ванне изменяется, но, во-первых, эта зависимость слабая и, во-вторых, температура расплава в ванне изменяется от 1000 °С до 1580 °С (максимум), что приводит к относительно малым изменениям плотности. Иными словами, с достаточной точностью можно считать для расплава $\text{div} \mathbf{v} = 0$ и записать уравнения движения в виде:

- в проекции на ось x

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right]; \quad (1)$$

- в проекции на ось y

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right]; \quad (2)$$

- в проекции на ось z

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) - \rho g; \quad (3)$$

Вязкость расплава существенно зависит от температуры. Однако уравнения (1)–(3) – это уравнения баланса импульса для бесконечно малого объема. При составлении этого баланса можно считать, что температура расплава, а, следовательно, и его вязкость, в пределах элементарного объема одинакова. Тогда μ можно вынести из-под знака производных, что приводит к упрощению уравнений.

В самом деле, например, в уравнении (1) можно при этом выделить слагаемые

$$\mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y \partial x} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial z \partial x} = \mu \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0$$

и аналогично для уравнений (2) и (3). Заметим, что такой подход не исключает учёта зависи-